

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-176797  
(43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.CI.

H01L 21/20  
G02F 1/1368  
H01L 21/268

(21)Application number : 11-355972

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 15.12.1999

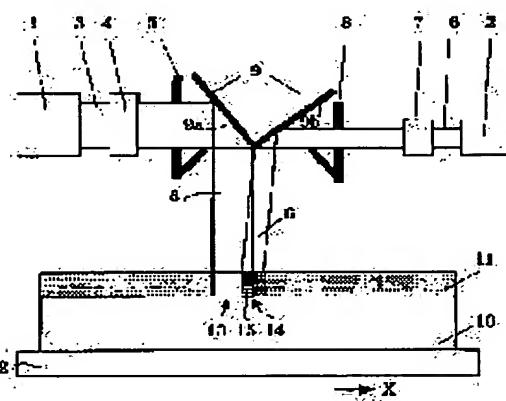
(72)Inventor : NAKAJIMA HIDEHARU

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR MANUFACTURING THIN-FILM SEMICONDUCTOR DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method and an apparatus for manufacturing a thin-film semiconductor device having a uniform semiconductor thin film having high mobility and satisfactory surface smoothness, by preventing a part of the semiconductor thin film from changing surely into an amorphous state and effectively when the thin film is heated and melted by an energy beam.

**SOLUTION:** A main laser beam 3 is irradiated to a semiconductor thin film 10 made of non-single crystal semiconductor on a substrate 11. The semiconductor thin film 10 is scanned by the main laser beam 3, to melt by heating and change the semiconductor from the non-single crystal into a crystallized state in this method. With respect to the scanning direction of the main laser beam 3, an auxiliary laser beam 6 is irradiated to a trailing edge region 15 as a region to be heated and melted, after at least the stoppage of irradiation of the main laser beam 3.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-176797

(P2001-176797A)

(43)公開日 平成13年6月29日 (2001.6.29)

(51)Int.Cl.

H 01 L 21/20  
G 02 F 1/1368  
H 01 L 21/268

識別記号

F I

H 01 L 21/20  
21/268  
G 02 F 1/136

テマコード(参考)

2 H 09 2  
J 5 F 05 2  
5 00

審査請求 未請求 請求項の数51 O.L (全 20 頁)

(21)出願番号

特願平11-355972

(22)出願日

平成11年12月15日 (1999.12.15)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 中嶋 英晴

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(74)代理人 100078031

弁理士 大石 鑑一 (外1名)

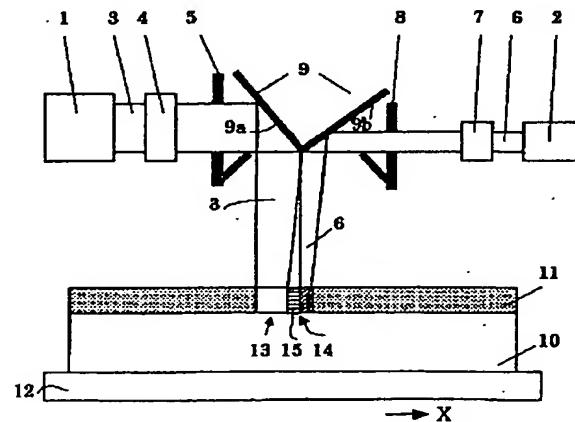
Fターム(参考) 2H092 JA24 KA05 MA30 MA35  
5F052 AA02 AA03 AA06 BA11 BA15  
BA17 BA18 BB07 CA08 DA01  
DA03 DA10 JA10

(54)【発明の名称】 薄膜半導体装置の製造方法および装置

(57)【要約】

【課題】 エネルギービームによって、加熱溶融された半導体薄膜の一部がアモルファス化することを確実に、かつ、効果的に防止して、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造することができる薄膜半導体装置の製造方法および製造装置を提供する。

【解決手段】 基板11に形成された非単結晶半導体よりなる半導体薄膜10に、主レーザビーム3を照射し、主レーザビーム3により、半導体薄膜10を走査して、非単結晶半導体を加熱溶融して、結晶化させる薄膜半導体装置の製造方法および装置であって、主レーザビーム3の走査方向に対して、主レーザビーム3が照射される半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域15に、少なくとも、主レーザビーム3の照射が停止された後に、副レーザビーム6を照射することを特徴とする薄膜半導体装置の製造方法および装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板に形成された非単結晶半導体よりもなる半導体薄膜に、第一のエネルギーービームを照射し、前記第一のエネルギーービームによって、前記半導体薄膜を走査して、前記非単結晶半導体を加熱溶融して、結晶化させる薄膜半導体装置の製造方法であって、前記第一のエネルギーービームの走査方向に対して、前記第一のエネルギーービームが照射される前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域に、少なくとも、前記第一のエネルギーービームの照射が停止された後に、第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項2】 前記第一のエネルギーービームの照射が停止される以前に、前記第二のエネルギーービームによって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項1に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項3】 前記第一のエネルギーービームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度をモニターし、前記トレーリングエッジ領域の冷却状態にしたがって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項1に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項4】 前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項3に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項5】 前記第二のエネルギーービームが照射されているにもかかわらず、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギーービームのパワーを増大させることを特徴とする請求項4に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項6】 モニターされた前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度に基づき、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を算出し、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を、前記トレーリングエッジ領域と、前記第一のエネルギーービームの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最大結晶化速度よりも大きくなったときに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項3に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記第二のエネルギーービームが照射され

ているにもかかわらず、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギーービームのパワーを増大させることを特徴とする請求項6に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項8】 前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が、アモルファス化温度を超える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項1ないし7のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項9】 前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、結晶化温度以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項1ないし8のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項10】 前記第二のエネルギーービームを、少なくとも、前記第一のエネルギーービームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の膜厚を最大結晶化温度で除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、照射することを特徴とする請求項3に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記非単結晶半導体が、非単結晶シリコンとなることを特徴とする請求項1ないし10のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記トレーリングエッジ領域と、前記第一のエネルギーービームの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、20m/sよりも大きくなったときに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項11に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が1100°Cを越える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項10ないし12のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項14】 前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、1420°C以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーービームを照射することを特徴とする請求項10ないし13のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項15】 前記第二のエネルギーービームを、少なくとも、前記第一のエネルギーービームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の膜厚を20m/sで除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、照射することを特徴

とする請求項11、13および14のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項16】 前記第二のエネルギー ビームの少なくとも一部を発散させて、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に照射することを特徴とする請求項1ないし15のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項17】 前記第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビームを、前記基板に対して、同じ側から、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に照射することを特徴とする請求項1ないし16のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項18】 前記第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビームを、前記基板に対して、反対側から、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に照射することを特徴とする請求項1ないし16のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項19】 前記第一のエネルギー ビームが、コヒーレントな光ビームによって構成されたことを特徴とする請求項1ないし18のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項20】 前記第二のエネルギー ビームが、コヒーレントな光ビームによって構成されたことを特徴とする請求項1ないし19のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項21】 前記第一のエネルギー ビームが、レーザビームによって構成されたことを特徴とする請求項1ないし20のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項22】 前記第二のエネルギー ビームが、レーザビームによって構成されたことを特徴とする請求項1ないし21のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項23】 前記レーザビームが、XeFエキシマレーザ(共振波長351nm)、XeClエキシマレーザ(共振波長308nm)、KrFエキシマレーザ(共振波長248nm)、KrClエキシマレーザ(共振波長222nm)、ArFエキシマレーザ(共振波長193nm)およびF<sub>2</sub>エキシマレーザ(共振波長157nm)よりなる群から選ばれるエキシマレーザによって構成されたことを特徴とする請求項21または22に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項24】 前記第二のエネルギー ビームが、コヒーレントでない光ビームによって構成されたことを特徴とする請求項1ないし19、21および23のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項25】 前記第二のエネルギー ビームが、電子ビームによって構成されたことを特徴とする請求項24に記載の薄膜半導体装置の製造方法。

【請求項26】 第一のエネルギー ビーム光源と、第二

のエネルギー ビーム光源と、前記第一のエネルギー ビーム光源から発せられた第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビーム光源から発せられた第二のエネルギー ビームを、基板に形成された非単結晶半導体よりなる半導体薄膜上を走査させ、前記半導体薄膜を加熱溶融させるエネルギー ビーム走査手段と、前記第一のエネルギー ビーム光源および前記第二のエネルギー ビーム光源のオン・オフを制御するエネルギー ビーム光源制御手段とを備え、前記エネルギー ビーム走査手段が、前記第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビームの走査方向に対して、前記第一のエネルギー ビームが照射される前記半導体薄膜の加熱溶融されるべき領域のトレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギー ビームを照射可能に、前記第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビームの光路を設定するように構成され、前記エネルギー ビーム光源制御手段が、少なくとも、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後に、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されたことを特徴とする薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項27】 前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされる以前に、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されたことを特徴とする請求項26に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項28】 さらに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度をモニターする温度検出手段を備え、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後、前記温度検出手段によってモニターされた前記トレーリングエッジ領域の冷却状態にしたがって、前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されたことを特徴とする請求項26に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項29】 前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後、前記温度検出手段によってモニターされた前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されたことを特徴とする請求項28に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項30】 前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンしたにもかかわらず、前記温度検出手段によってモニターされた前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギー ビーム光源のパワーを増大させるように構成されたことを特徴とする請求項29に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項31】 前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記温度検出手段によってモニターされた前記半導

体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度に基づいて、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を算出し、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を、前記トレーリングエッジ領域と前記第一のエネルギーームの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最大結晶化速度よりも大きくなったときに、前記第二のエネルギーーム光源をオンさせるように構成されたことを特徴とする請求項28に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項32】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記第二のエネルギーーム光源をオンしたにもかかわらず、前記温度検出手段によってモニターされた前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギーーム光源のパワーを増大させるように構成されたことを特徴とする請求項31に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項33】 前記温度検出手段が、赤外線温度センサによって構成されたことを特徴とする請求項28ないし32のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項34】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が、アモルファス化温度を越える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーームを照射するように構成されたことを特徴とする請求項26ないし33のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項35】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、結晶化温度以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーームを照射するように構成されたことを特徴とする請求項26ないし34のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項36】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記第一のエネルギーームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の膜厚を最大結晶化速度で除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーームを照射するように構成されたことを特徴とする請求項26ないし35のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項37】 前記非単結晶半導体が、非単結晶シリコンよりなることを特徴とする請求項26ないし36のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項38】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を、前記トレーリングエッジ領域と前記第一のエネルギーームの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最

20m/秒よりも大きくなったときに、前記第二のエネルギーーム光源をオンさせるように構成されたことを特徴とする請求項37に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項39】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が、1100°Cを越える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーームを照射するように構成されたことを特徴とする請求項37または38に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項40】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、1420°C以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーームを照射するように構成されたことを特徴とする請求項37ないし39のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項41】 前記エネルギーーム光源制御手段が、前記第一のエネルギーームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の膜厚を20m/秒で除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーームを照射するように構成されたことを特徴とする請求項37、39および40のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項42】 さらに、前記第二のエネルギーームの少なくとも一部を発散させて、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に照射するエネルギーーム発散手段を備えたことを特徴とする請求項26ないし41のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項43】 前記第一のエネルギーーム光源および前記第二のエネルギーーム光源が、前記基板に対して、同じ側に設けられたことを特徴とする請求項26ないし42のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項44】 前記第一のエネルギーーム光源および前記第二のエネルギーーム光源が、前記基板に対して、反対側に設けられたことを特徴とする請求項26ないし42のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項45】 前記第一のエネルギーーム光源が、コヒーレントな光ビームを発生する光ビーム光源によって構成されたことを特徴とする請求項26ないし44のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項46】 前記第二のエネルギーーム光源が、コヒーレントな光ビームを発生する光ビーム光源によって構成されたことを特徴とする請求項26ないし45のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項47】 前記第一のエネルギーーム光源が、

レーザビーム光源によって構成されたことを特徴とする請求項26ないし46のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項48】前記第二のエネルギー ビーム光源が、レーザビーム光源によって構成されたことを特徴とする請求項26ないし47のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項49】前記レーザビームが、XeFエキシマレーザ(共振波長351nm)、XeClエキシマレーザ(共振波長308nm)、KrFエキシマレーザ(共振波長248nm)、KrClエキシマレーザ(共振波長222nm)、ArFエキシマレーザ(共振波長193nm)およびF<sub>2</sub>エキシマレーザ(共振波長157nm)よりなる群から選ばれるエキシマレーザによって構成されたことを特徴とする請求項47または48に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項50】前記第二のエネルギー ビーム光源が、コヒーレントでない光ビームを発生するように構成されたことを特徴とする請求項26ないし45、47および49のいずれか1項に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

【請求項51】前記第二のエネルギー ビーム光源が、電子ビームを発生するように構成されたことを特徴とする請求項50に記載の薄膜半導体装置の製造装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、薄膜半導体装置の製造方法および装置に関するものであり、さらに詳細には、エネルギー ビームによって、加熱溶融された半導体薄膜の一部がアモルファス化することを確実にかつ効果的に防止して、表面平滑性に優れた薄膜半導体装置を製造することのできる薄膜半導体装置の製造方法および装置に関するものである。

##### 【0002】

【従来の技術】薄膜半導体装置は、たとえば、アクティブマトリックス型液晶ディスプレイパネルなどの駆動基板に好適であり、そのため、近年、盛んに開発が進められている。ことに、多結晶シリコン薄膜半導体装置は、小型で、解像度の高いアクティブマトリックス型カラー液晶ディスプレイパネルに使用できるため、注目を集めている。

【0003】多結晶シリコン薄膜半導体装置の製造にあたっては、従来、900°C以上の処理温度を用いて、石英などの耐熱性のある基板上に、半導体薄膜を成膜し、時間をかけて、固相成長させ、改質する方法が用いられて来たが、石英基板が高価なために、コストが高くなるという問題があった。

【0004】そこで、600°C以下の処理温度で、多結晶シリコン薄膜半導体装置を製造する低温多結晶化プロセスが開発され、その中でも、エネルギー ビーム、とく

に、レーザビームを用いて、多結晶シリコン薄膜半導体装置を製造する方法が注目を集めている。

【0005】この方法は、ガラスなどの低耐熱性絶縁基板上に、たとえば、非晶質シリコンや多結晶シリコンなどの非単結晶シリコンの半導体薄膜を成膜し、半導体薄膜にレーザビームを照射して、半導体薄膜を局所的に加熱溶融した後、レーザビームの照射を停止して、加熱溶融された部分を冷却し、その過程で、半導体薄膜を再結晶化させ、レーザビームにより、半導体薄膜を走査することによって、結晶粒径の大きい多結晶シリコン膜を生成するものである。

##### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、非単結晶シリコンからなる半導体薄膜上を、レーザビームを走査して、半導体薄膜の領域を、次々に、加熱溶融した後、冷却して、結晶化させる場合には、それぞれの加熱溶融領域の中央部分においては、熱は、基板に向けて放出されるにすぎないので、周辺部においては、熱が、周囲に向けて放出されるため、冷却速度が高く、過冷却状態となって、加熱溶融された半導体薄膜が再アモルファス化し、その結果、この領域での移動度が低下するとともに、シリコンの体積が増大して、表面に盛り上がり、局所的に、表面平滑性が悪化するという問題があった。

【0007】非単結晶シリコンのみならず、非単結晶シリコンゲルマニウム、非単結晶ゲルマニウムその他の非単結晶半導体よりなる半導体薄膜上を、レーザビームを走査して、半導体薄膜の領域を、次々に、加熱溶融した後、冷却して、結晶化させる場合にも、同様な問題があった。さらに、レーザビームに代えて、電子ビーム、電磁波、原子ビーム、分子ビームなどを用いる場合にも、同様の問題が生じ、その解決が望まれていた。

【0008】したがって、本発明は、エネルギー ビームによって、加熱溶融された半導体薄膜の一部がアモルファス化することを確実に、かつ、効果的に防止して、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造することのできる薄膜半導体装置の製造方法および製造装置を提供することを目的とするものである。

##### 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明らは、本発明のかかる目的を達成するため、鋭意研究を重ねた結果、本発明の前記目的は、基板に形成された非単結晶半導体よりなる半導体薄膜に、第一のエネルギー ビームを照射し、前記第一のエネルギー ビームによって、前記半導体薄膜を走査して、前記非単結晶半導体を結晶化させる薄膜半導体装置の製造方法であつて、前記第一のエネルギー ビームの走査方向に対して、前記第一のエネルギー ビームが照射される前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域に、少なくとも、前記第一のエネ

ルギービームの照射が停止された後に、第二のエネルギー ビームを照射することを特徴とする薄膜半導体装置の製造方法によって達成されることを見出した。本発明において、第一のエネルギー ビームが照射される半導体薄膜の加熱溶融すべき領域とは、第一のエネルギー ビームの回り込みなどによって、第一のエネルギー ビームが半導体薄膜に照射される部分を含まず、半導体薄膜に、第一のエネルギー ビームを照射して、加熱溶融することを意図された半導体薄膜の領域をいう。

【0010】また、本発明において、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域とは、半導体薄膜に対して、相対的に移動されて、半導体薄膜上を走査される第一のエネルギー ビームによって、照射を受ける半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の第一のエネルギー ビームの走査方向に対して、後ろ側の縁部に相当するトレーリングエッジを含む領域をいう。

【0011】本発明は、単一のエネルギー ビームによって、非単結晶半導体よりなる半導体薄膜上を走査し、半導体薄膜の領域を、次々に、加熱溶融して、冷却させ、薄膜半導体装置を製造する場合においては、エネルギー ビームが、次々に、照射され、加熱溶融される半導体薄膜の領域のうち、トレーリングエッジ領域から、第一のエネルギー ビームの走査方向に対して、その上流側に隣接する半導体薄膜の隣接領域に、熱が放出され、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域が過冷却になって、アモルファス化温度以下に温度が低下し、アモルファス化しやすいという知見に基づくものである。

【0012】すなわち、アモルファスシリコン膜の加熱特性を示す図1に示されよう、エネルギー ビームをアモルファスシリコン膜に照射すると、アモルファスシリコン膜の温度が上昇を開始し、約1100°Cで、アモルファスシリコン膜が溶融し始める。アモルファスシリコン膜が完全に溶融すると、再び、アモルファスシリコン膜の温度が上昇する。この時点で、エネルギー ビームの照射を停止すると、アモルファスシリコン膜の冷却開始される。冷却速度が所定速度よりも小さい場合には、約1420°Cで、結晶シリコンが生成され始め、アモルファスシリコンが完全に固化すると、再び、温度が低下する。これに対して、冷却速度が所定速度よりも大きい場合には、アモルファスシリコン膜の温度が、結晶シリコンの生成温度である1420°Cよりも低下して、アモルファスシリコンの生成温度である約1100°Cまで低下し、その結果、アモルファスシリコンが生成される。したがって、単一のエネルギー ビームにより、アモルファスシリコン膜の表面を走査して、アモルファスシリコン膜の表面領域を、次々に、加熱溶融し、アモルファスシリコンを結晶化させる場合には、エネルギー ビームの照射が停止された後、加熱溶融されたアモルファスシリコン膜領域の周辺部分においては、熱が、基板に向けてだけではなく、周囲のシリコン膜に向けて放出されるた

め、冷却速度が大きくなつて、過冷却状態になり、温度がアモルファスシリコンの生成温度以下に低下して、シリコンがアモルファスシリコン化されるが、エネルギー ビームの走査方向に対して、トレーリングエッジ部分とは反対の前側にあたるシリコン膜の加熱溶融された領域のリーディングエッジ部分は、エネルギー ビームの走査にしたがつて、再度、エネルギー ビームが照射されて、加熱溶融されるため、アモルファスシリコン膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域のみが、アモルファス化されるものと推定される。非単結晶シリコンのみならず、非単結晶シリコンーゲルマニウム、非単結晶ゲルマニウムその他の非単結晶半導体よりなる半導体薄膜上を、レーザービームを走査して、半導体薄膜の領域を、次々に、加熱溶融した後、冷却して、結晶化させる場合にも、同様な問題が生じる。しかしながら、本発明によれば、第一のエネルギー ビームが照射される半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域に、少なくとも、前記第一のエネルギー ビームの照射が停止された後に、前記第二のエネルギー ビームを照射するように構成されているから、第一のエネルギー ビームの照射が停止された後に、半導体薄膜の加熱溶融された領域のトレーリングエッジ領域には、第二のエネルギー ビームが照射されて、第二のエネルギー ビームによって加熱され、したがつて、第一のエネルギー ビームの照射が停止された後において、半導体薄膜の加熱溶融された領域のトレーリングエッジ領域が急速に冷却され、過冷却状態になって、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域中のシリコンがアモルファス化することを確実かつ効果的に防止して、非単結晶シリコンを、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になり、半導体薄膜が、非単結晶シリコンではなく、非単結晶シリコンーゲルマニウム、非単結晶ゲルマニウムその他の非単結晶半導体によって形成されている場合にも、同様にして、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることができる。

【0013】本発明において、エネルギー ビームを、半導体薄膜に照射するとは、エネルギー ビームを、半導体薄膜に直接的に照射する場合と、エネルギー ビームを、基板を介して、半導体薄膜に照射する場合とを包含するものである。

【0014】本発明の好ましい実施態様においては、前記第一のエネルギー ビームの照射が停止される以前に、前記第二のエネルギー ビームによって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギー ビームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0015】本発明の好ましい実施態様によれば、第一

のエネルギービームの照射を停止する以前に、第二のエネルギービームを照射し始め、第一のエネルギービームの照射を停止した後も、第二のエネルギービームを照射し続けるように構成されているから、第一のエネルギービームの照射が停止された後においても、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域には、第二のエネルギービームが照射されて、第二のエネルギービームによって加熱され、したがって、第一のエネルギービームの照射が停止された後において、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域が急速に冷却され、過冷却状態になって、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域中の半導体がアモルファス化することを確実かつ効果的に防止して、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0016】本発明の別の好ましい実施態様においては、前記第一のエネルギービームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度をモニターし、前記トレーリングエッジ領域の冷却状態にしたがって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0017】本発明の別の好ましい実施態様によれば、第一のエネルギービームの照射が停止された後、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度をモニターし、トレーリングエッジ領域の冷却状態にしたがって、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギービームを照射するように構成されているから、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度を所望の温度に保持することができ、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0018】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0019】本発明のさらに好ましい実施態様によれば、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギービームを照射するように構成されているから、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度を所望の温度に保持することができ、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させ

て、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0020】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギービームが照射されているにもかかわらず、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギービームのパワーを増大させることによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0021】本発明のさらに別の好ましい実施態様においては、モニターされた前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度に基づき、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を算出し、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を、前記トレーリングエッジ領域と、前記第一のエネルギービームの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最大結晶化速度よりも大きくなったときに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0022】本発明のさらに別の好ましい実施態様によれば、トレーリングエッジ領域の冷却速度を、トレーリングエッジ領域と、第一のエネルギービームの走査方向に対して、トレーリングエッジ領域の上流側の半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最大結晶化速度よりも大きくなったときに、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギービームを照射するように構成されているから、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度を所望の温度に保持することができ、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0023】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギービームが照射されているにもかかわらず、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギービームのパワーを増大させることによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0024】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が、アモルファス化温度を越える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0025】本発明のさらに好ましい実施態様によれば、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度が、アモルファス化温度を越える温度に保持されるように、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギービームを照射するように構成さ

れているから、半導体がアモルファス化することを確実に防止して、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0026】本発明のさらによましい実施態様においては、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、結晶化温度以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0027】本発明の別のよましい実施態様においては、前記第二のエネルギーービームを、少なくとも、前記第一のエネルギーービームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の膜厚を最大結晶化温度で除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0028】本発明の別のよましい実施態様によれば、第一のエネルギーービームの照射が停止された後、半導体薄膜の膜厚を最大結晶化速度で除した時間にわたって、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギーービームを照射しているから、確実に、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域内の半導体が、アモルファス化することを効果的に防止して、非単結晶半導体を所望のように結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0029】本発明のよましい実施態様においては、非単結晶半導体が、非単結晶シリコンからなっている。

【0030】本発明のさらによましい実施態様においては、前記トレーリングエッジ領域と、前記第一のエネルギーービームの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、20m/sよりも大きくなったときに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0031】本発明のさらによましい実施態様においては、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が1100°Cを越える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0032】本発明のさらによましい実施態様においては、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、1420°C以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーービームを照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0033】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第二のエネルギーービームを、少なくとも、前記第一のエネルギーービームの照射が停止された後、前記半

導体薄膜の膜厚を20m/sで除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0034】非単結晶シリコンを結晶化する最大結晶化速度は20m/sであり、本発明の別のよましい実施態様によれば、第一のエネルギーービームの照射が停止された後、半導体薄膜の膜厚を最大結晶化速度である20m/sで除した時間にわたって、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギーービームを照射しているから、確実に、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域が、アモルファス化することを効果的に防止して、非単結晶シリコンを所望のように結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0035】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第二のエネルギーービームの少なくとも一部を発散させて、前記半導体薄膜の前記後縁領域を含む領域に照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0036】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第一のエネルギーービームおよび前記第二のエネルギーービームを、前記基板に対して、同じ側から、前記半導体薄膜に照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0037】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第一のエネルギーービームおよび前記第二のエネルギーービームを、前記基板に対して、反対側から、前記半導体薄膜に照射することによって、薄膜半導体装置が製造される。

【0038】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第一のエネルギーービームが、コヒーレントな光ビームによって構成されている。

【0039】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第二のエネルギーービームが、コヒーレントな光ビームによって構成されている。

【0040】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第一のエネルギーービームが、レーザビームによって構成されている。

【0041】本発明のさらによましい実施態様においては、前記第二のエネルギーービームが、レーザビームによって構成されている。

【0042】本発明のさらによましい実施態様においては、前記レーザビームが、XeFエキシマレーザ（共振波長351nm）、XeClエキシマレーザ（共振波長308nm）、KrFエキシマレーザ（共振波長248nm）、KrClエキシマレーザ（共振波長222nm）、ArFエキシマレーザ（共振波長193nm）およびF<sub>2</sub>エキシマレーザ（共振波長157nm）よりなる群から選ばれるエキシマレーザによって構成されている。

【0043】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギー ビームが、コヒーレントでない光ビームによって構成されている。

【0044】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギー ビームが、電子ビームによって構成されている。

【0045】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギー ビームが、電磁波によって構成されている。

【0046】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギー ビームが、原子ビームおよび分子ビームよりなる群から選ばれたエネルギー ビームによって構成されている。

【0047】本発明の前記目的はまた、第一のエネルギー ビーム光源と、第二のエネルギー ビーム光源と、前記第一のエネルギー ビーム光源から発せられた第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビーム光源から発せられた第二のエネルギー ビームを、基板に形成された非単結晶半導体よりなる半導体薄膜上を走査させ、前記半導体薄膜を加熱溶融させるエネルギー ビーム走査手段と、前記第一のエネルギー ビーム光源および前記第二のエネルギー ビーム光源のオン・オフを制御するエネルギー ビーム光源制御手段とを備え、前記エネルギー ビーム走査手段が、前記第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビームの走査方向に対して、前記第一のエネルギー ビームが照射される前記半導体薄膜の加熱溶融されるべき領域のトレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギー ビームを照射可能に、前記第一のエネルギー ビームおよび前記第二のエネルギー ビームの光路を設定するように構成され、前記エネルギー ビーム光源制御手段が、少なくとも、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後に、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されたことを特徴とする薄膜半導体装置の製造装置によって達成される。

【0048】本発明によれば、エネルギー ビーム走査手段によって、第一のエネルギー ビームおよび第二のエネルギー ビームの光路が、第一のエネルギー ビームおよび第二のエネルギー ビームの走査方向に対して、第一のエネルギー ビームが照射される半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギー ビームを照射可能に設定され、エネルギー ビーム光源制御手段によって、少なくとも、第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後に、第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されているから、第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後に、半導体薄膜の加熱溶融された領域のトレーリングエッジ領域には、第二のエネルギー ビームが照射されて、第二のエネルギー ビームによって加熱され、したがって、第一のエネルギー ビームの照射が停止された後において、半導体薄膜の加熱溶融された領域のトレーリングエッジ領域が急速に冷却さ

れ、過冷却状態になって、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域中の半導体がアモルファス化することを確実かつ効果的に防止して、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0049】本発明の好ましい実施態様においては、前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされる以前に、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されている。

【0050】本発明の好ましい実施態様によれば、第一のエネルギー ビーム光源がオフされる以前に、第二のエネルギー ビームがオンされて、第一のエネルギー ビームの照射を停止した後も、第二のエネルギー ビームを照射し続けるように構成されているから、第一のエネルギー ビームの照射が停止された後においても、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域には、第二のエネルギー ビームが照射されて、第二のエネルギー ビームによって加熱され、したがって、第一のエネルギー ビームの照射が停止された後において、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域が急速に冷却され、過冷却状態になって、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域中の半導体がアモルファス化することを確実かつ効果的に防止して、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0051】本発明の別の好ましい実施態様においては、さらに、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度をモニターする温度検出手段を備え、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後、前記温度検出手段によって、モニターされた前記トレーリングエッジ領域の冷却状態にしたがって、前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されている。

【0052】本発明の別の好ましい実施態様によれば、第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後、温度検出手段によって、モニターされたトレーリングエッジ領域の冷却状態にしたがって、エネルギー ビーム光源制御手段が、第二のエネルギー ビーム光源をオンさせるように構成されているから、第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後に、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度を所望の温度に保持することができ、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0053】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギー ビーム光源制御手段が、前記第一のエネルギー ビーム光源がオフされた後、前記温度検出手段によって、モニターされた前記トレーリングエッジ領

域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギーービーム光源をオンさせるように構成されている。

【0054】本発明のさらに好ましい実施態様によれば、エネルギーービーム光源制御手段が、第一のエネルギーービーム光源がオフされた後、温度検出手段によって、モニターされたトレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、第二のエネルギーービーム光源をオンさせるように構成されているから、第一のエネルギーービーム光源がオフされた後に、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度を所望の温度に保持することができ、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0055】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーービーム光源制御手段が、前記第二のエネルギーービーム光源をオンしたにもかかわらず、前記温度検出手段によってモニターされた前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギーービーム光源のパワーを増大させるように構成されている。

【0056】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーービーム光源制御手段が、前記温度検出手段によって、モニターされた前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度に基づき、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を算出し、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を、前記トレーリングエッジ領域と前記第一のエネルギーービームの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最大結晶化速度よりも大きくなったときに、前記第二のエネルギーービーム光源をオンさせるように構成されている。

【0057】本発明のさらに好ましい実施態様によれば、エネルギーービーム光源制御手段が、温度検出手段によってモニターされた半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度に基づき、トレーリングエッジ領域の冷却速度を算出し、トレーリングエッジ領域の冷却速度を、トレーリングエッジ領域と第一のエネルギーービームの走査方向に対して、トレーリングエッジ領域の上流側の半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最大結晶化速度よりも大きくなったときに、第二のエネルギーービーム光源をオンさせるように構成されているから、第一のエネルギーービーム光源がオフされた後に、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度を所望の温度に保持することができ、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0058】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーービーム光源制御手段が、前記第二のエネルギーービーム光源をオシしたにもかかわらず、前記温度検出手段によってモニターされた前記トレーリングエッジ領域の温度が所定温度以下になったときに、前記第二のエネルギーービーム光源のパワーを増大させるように構成されている。

【0059】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記温度検出手段が赤外線温度センサによって構成されている。

【0060】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーービーム光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が、アモルファス化温度を越える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射するように構成されている。

【0061】本発明のさらに好ましい実施態様によれば、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域のトレーリングエッジ領域の温度が、アモルファス化温度を越える温度に保持されるように、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギーービームを照射するように構成されているから、半導体がアモルファス化することを確実に防止して、非単結晶半導体を、所望のように、結晶化させて、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を得ることが可能になる。

【0062】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーービーム光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、結晶化温度以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーービームを照射するように構成されている。

【0063】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーービーム光源制御手段が、前記第一のエネルギーービームの照射が停止された後、前記半導体薄膜の膜厚を最大結晶化速度で除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーービームを照射するように構成されている。

【0064】本発明のさらに好ましい実施態様によれば、第一のエネルギーービームの照射が停止された後、半導体薄膜の膜厚を最大結晶化速度で除した時間にわたって、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域に、第二のエネルギーービームを照射しているから、確実に、半導体薄膜のトレーリングエッジ領域が、アモルファス化することを効果的に防止して、非単結晶半導体を所望のように結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。本発明の好ましい実施態様においては、非単結晶半導体が、非単結晶シリコンからなっている。

【0065】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーbeam光源制御手段が、前記トレーリングエッジ領域の冷却速度を、前記トレーリングエッジ領域と前記第一のエネルギーbeamの走査方向に対して、前記トレーリングエッジ領域の上流側の前記半導体薄膜との間の温度勾配で除した値が、最20m/秒よりも大きくなったときに、前記第二のエネルギーbeam光源をオンさせるように構成されている。

【0066】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーbeam光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域の温度が、1100°Cを越える温度に保持されるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーbeamを照射するように構成されている。

【0067】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーbeam光源制御手段が、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域の温度が、1420°C以上になるように、前記半導体薄膜の加熱溶融すべき領域に、前記第一のエネルギーbeamを照射するように構成されている。

【0068】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記エネルギーbeam光源制御手段が、前記第一のエネルギーbeamの照射が停止された後、前記半導体薄膜の膜厚を20m/秒で除した時間以上にわたって、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に、前記第二のエネルギーbeamを照射するように構成されている。

【0069】本発明のさらに好ましい実施態様においては、さらに、前記第二のエネルギーbeamの少なくとも一部を発散させて、前記半導体薄膜の前記トレーリングエッジ領域に照射するエネルギーbeam発散手段を備えている。

【0070】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第一のエネルギーbeam光源および前記第二のエネルギーbeam光源が、前記基板に対して、同じ側に設けられている。

【0071】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第一のエネルギーbeam光源および前記第二のエネルギーbeam光源が、前記基板に対して、反対側に設けられている。

【0072】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第一のエネルギーbeam光源が、コヒーレントな光beamを発生する光beam光源によって構成されている。

【0073】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギーbeam光源が、コヒーレントな光beamを発生する光beam光源によって構成されている。

【0074】本発明のさらに好ましい実施態様において

は、前記第一のエネルギーbeam光源が、レーザbeam光源によって構成されている。

【0075】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギーbeam光源が、レーザbeam光源によって構成されている。

【0076】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記レーザbeamが、XeFエキシマレーザ（共振波長351nm）、XeClエキシマレーザ（共振波長308nm）、KrFエキシマレーザ（共振波長248nm）、KrClエキシマレーザ（共振波長222nm）、ArFエキシマレーザ（共振波長193nm）およびF<sub>2</sub>エキシマレーザ（共振波長157nm）よりなる群から選ばれるエキシマレーザによって構成されている。

【0077】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギーbeam光源が、コヒーレントでない光beamを発生するように構成されている。

【0078】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギーbeam光源が、電子beamを発生するように構成されている。

【0079】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギーbeam光源が、電磁波を発生するように構成されている。

【0080】本発明のさらに好ましい実施態様においては、前記第二のエネルギーbeam光源が、原子beamおよび分子beamよりなる群から選ばれたエネルギーbeamを発生するように構成されている。

#### 【0081】

【発明の好ましい実施の形態】以下、添付図面に基づいて、本発明にかかる好ましい実施態様につき、詳細に説明を加える。

【0082】図2は、本発明の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【0083】図2に示されるように、レーザアニール装置は、第一のレーザbeam光源1および第二のレーザbeam光源2を備えている。本実施態様においては、第一のレーザbeam光源1および第二のレーザbeam光源2として、共振波長308nmのXeClエキシマレーザが用いられている。第一のレーザbeam光源1から発せられた主レーザbeam3は、ホモジナイザー4に導かれ、さらに、スリット5に導かれる。同様にして、第二のレーザbeam光源2から発せられた副レーザbeam6は、ホモジナイザー7に導かれ、さらに、スリット8に導かれる。

【0084】図3は、第一のレーザbeam光源1から発せられた主レーザbeam3および第二のレーザbeam光源2から発せられた副レーザbeam6の強度分布を示すグラフであり、図4は、ホモジナイザー4およびスリット5を通過した主レーザbeam3およびホモジナイザー7およびスリット8を通過した副レーザbeam6の強度

分布を示すグラフである。

【0085】図3に示されるように、第一のレーザビーム光源1から発せられた主レーザビーム3および第二のレーザビーム光源2から発せられた副レーザビーム6の強度は、ガウシャン分布をなしており、ホモジナイザー4およびスリット5を通過することによって、また、ホモジナイザー7およびスリット8を通過することによって、主レーザビーム3および副レーザビーム6の強度は、それぞれ、図4に示されるように、強度が均一な矩形状分布に変換される。

【0086】スリット5を通過した主レーザビーム3は、V字状の反射ミラー9の反射面9aに入射し、スリット8を通過した副レーザビーム6は、V字状の反射ミラー9の反射面9bに入射して、それぞれ、反射される。V字状の反射ミラー9は、主レーザビーム3および副レーザビーム6の光路を制御するため、反射面9aおよび反射面9bのなす角度が調整可能に構成されている。

【0087】非単結晶シリコンの半導体薄膜10が形成されたガラスよりなる基板11は、図2において矢印Xで示される方向に、移動機構(図示せず)によって、移動可能な移動台12に載置されており、反射ミラー9に入射した主レーザビーム3および副レーザビーム6は、それぞれ、基板11上に形成された半導体薄膜10に向けて、反射面9a、9bによって、反射される。その結果、半導体薄膜10の加熱溶融されるべき領域13が、主レーザビーム3によって照射され、主レーザビーム3および副レーザビーム6の走査方向に対して、半導体薄膜10の加熱溶融されるべき領域13の上流側の領域14が副レーザビーム6によって照射される。

【0088】さらに、副レーザビーム6は、主レーザビーム3によって加熱溶融されるべき領域13のうち、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15にも照射可能なようす、すなわち、トレーリングエッジ領域15に、主レーザビーム3と副レーザビーム6の双方が照射可能なようす、反射ミラー9の位置、反射面9a、9bのなす角度などが設定されている。

【0089】第一のレーザビーム光源1および第二のレーザビーム光源2は、レーザビーム光源制御手段16によって制御されており、本実施態様においては、主レーザビーム3のパワーおよび照射時間は、主レーザビーム3を照射することによって、半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13の温度が、結晶化温度である1420°C以上になるよう、実験的に決定され、第一のレーザビーム光源1が、レーザビーム光源制御手段16によって、制御されている。また、本実施態様においては、第一のレーザビーム光源1がオフされる10nsec前に、第二のレーザビーム光源2がオンされて、副レーザビーム6が照射されるが、副レーザビーム6のパワーは、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温

度が、アモルファス化温度である1100°Cを越える温度に保持されるように、実験的に決定され、第二のレーザビーム光源2が、レーザビーム光源制御手段16によって制御されている。

【0090】また、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、次式によって求められる時間T経過後に、第二のレーザビーム光源2がオフされるように、第二のレーザビーム光源2が、レーザビーム光源制御手段16によって制御されている。

【0091】

$T = \text{半導体薄膜 } 10 \text{ の膜厚} / 20 \text{ (m/秒)}$

以上のように構成された本発明の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置によれば、以下のようにして、基板11上に形成された非単結晶シリコンの半導体薄膜10が結晶化され、薄膜半導体装置が製造される。

【0092】レーザビーム光源制御手段16によって、まず、第一のレーザビーム光源1がオンされ、第一のレーザビーム光源1から主レーザビーム3が発せられる。

【0093】第一のレーザビーム光源1から発せられた主レーザビーム3は、ホモジナイザ4およびスリット5を通過することによって、強度分布が、図4に示される矩形状の強度分布に変換された後、反射ミラー9に入射して、反射面9aによって反射される。

【0094】反射ミラー9によって反射された主レーザビーム3は、移動台12上に載置された基板11上の半導体薄膜10の加熱溶融されるべき領域13に照射され、加熱溶融されるべき領域13内に含まれた非単結晶シリコンが加熱される。

【0095】非単結晶シリコンの温度が約1100°Cまで上昇すると、非単結晶シリコンが溶融を開始し、溶融が完了すると、再び、非単結晶シリコンの温度が上昇する。

【0096】本実施態様においては、主レーザビーム3を照射することによって、半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13の温度が、1420°C以上になるように、第一のレーザビーム光源1が、レーザビーム光源制御手段16によって制御されているから、加熱溶融すべき領域13内の非単結晶シリコンの温度は、非単結晶シリコンの結晶化温度である1420°C以上にまで上昇される。

【0097】レーザビーム光源制御手段16によって、第一のレーザビーム光源1をオフされる10nsec前に、第二のレーザビーム光源2がオンされ、副レーザビーム6が、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15を含む領域14に照射される。

【0098】その後、レーザビーム光源制御手段16によって、第一のレーザビーム光源1をオフされると、半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13内の非単結晶シリコンの温度は低下し始め、半導体薄膜10の加熱溶融された領域13内の非単結晶シリコンが冷却される。

【0099】一般に、半導体薄膜10の加熱溶融された領域13の中央部分においては、熱は、基板11に向けて放出されるにすぎないのに対して、半導体薄膜10の加熱溶融された領域13の周辺部分においては、熱が、周囲の加熱されていない半導体薄膜10の領域に向けても放出されるため、冷却速度が高くなつて、通常は、急速に冷却され、アモルファスシリコンが生成される度があるが、本実施態様においては、第一のレーザビーム光源1がオフされる10nsec前に、第二のレーザビーム光源2がオンされ、第一のレーザビーム光源1がオフされた後にも、トレーリングエッジ領域15には、トレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンの温度を1100°Cを越える温度に保持可能な強度の副レーザビーム6が照射されているため、トレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンの温度がアモルファス化の開始される1100°C以下に低下して、アモルファスシリコンが生成されることが防止され、所望のように、非単結晶シリコンを結晶化させることが可能になる。

【0100】ここに、主レーザビーム3および副レーザビーム6の走査方向に対して、主レーザビーム3のリーディングエッジ部分が照射される半導体薄膜10の領域も、熱が、基板11に向けて放出されるだけでなく、周囲の加熱されていない半導体薄膜10の下流側領域に向けても放出されるため、冷却速度が高くなり、急速に冷却されて、非単結晶シリコンの温度がアモルファス化が開始される1100°C以下に低下して、非単結晶シリコンがアモルファス化される度があるが、主レーザビーム3のリーディングエッジ部分が照射される半導体薄膜10の領域は、移動台12が移動されることによって、主レーザビーム3および副レーザビーム6により、再び、走査され、加熱溶融されて、結晶化されるため、アモルファス化されても、最終製品に欠陥を生じさせることはない。

【0101】本実施態様によれば、主レーザビーム3を照射することによって、半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13の温度が、1420°C以上になるように、第一のレーザビーム光源1が、レーザビーム光源制御手段16により制御されているから、加熱溶融すべき領域13内の非単結晶シリコンの温度は、非単結晶シリコンの結晶化温度である1420°C以上にまで上昇され、また、レーザビーム光源制御手段16により、第一のレーザビーム光源1がオフされる10nsec前に、第二のレーザビーム光源2がオンされて、主レーザビーム3によって加熱溶融されるべき領域13のトレーリングエッジ領域15には、副レーザビーム6が照射されるように構成されており、第一のレーザビーム光源1がオフされた後にも、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15には、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度を1100°Cを越える温度に保持可能な強度の副レーザビーム6が照射されているため、トレーリングエ

ッジ領域15内の非単結晶シリコンの温度がアモルファス化が開始される1100°C以下に低下することが防止される。さらには、副レーザビーム6は、主レーザビーム3および副レーザビーム6の走査方向に対して、トレーリングエッジ領域15の上流側の半導体薄膜10の領域14にも照射されているから、トレーリングエッジ領域15と、その上流側に隣接する半導体薄膜10の領域14との間の温度勾配は小さく、熱が、短時間に、トレーリングエッジ領域15から、その上流側に隣接する半導体薄膜10の領域14に放出されることが防止され、トレーリングエッジ領域15が過冷却状態になることを、確実に防止することが可能になる。したがって、従来、シリコンがアモルファス化して、表面平滑性が損なわれ、移動度が低下する度のあった半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15においても、非単結晶シリコンがアモルファス化することを確実かつ効果的に防止して、所望のように、非単結晶シリコンを結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜10を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0102】さらに、アモルファスシリコンを多結晶化する最大結晶化速度は、20m/秒であるので、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、半導体薄膜の膜厚を、アモルファスシリコンを多結晶化する最大結晶化速度である20m/秒で除した時間以上にわたって、副レーザビームを半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15に照射することが望ましいが、本実施態様によれば、第一のレーザビーム光源1をオフされる10nsec前に、レーザビーム光源制御手段16によって、第二のレーザビーム光源2がオンされて、副レーザビーム6が半導体薄膜10の領域14に照射され、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、半導体薄膜の膜厚を最大結晶化速度である20m/秒で除した時間にわたって、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15に、副レーザビーム6を照射しているから、加熱溶融された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンがアモルファス化することを確実にかつ効果的に防止して、所望のように、非単結晶シリコンを結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜10を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0103】図5は、本発明の別の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【0104】図5に示されるように、本実施態様にかかるレーザアニール装置においては、第二のレーザビーム光源2、ホモジナイザ7およびスリット8は、基板11に対して、半導体薄膜10の反対側に設けられ、V字状の反射ミラー9に代えて、主レーザビーム3を反射する平面反射ミラー20と、副レーザビーム6を反射する平面反射ミラー21が、基板11の反対側に設けられている。また、本実施態様においては、移動台12は透明部

材によって構成されている。

【0105】さらに、本実施態様にかかるレーザアニール装置は、主レーザビーム3が照射されている半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13のトレーリングエッジ領域15の温度をモニターする赤外線温度センサ22と、赤外線温度センサ22によって温度を測定すべき半導体薄膜10の領域を決定するためのモニター23と、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度にしたがって、第二のレーザビーム光源2をオン・オフ制御するレーザコントローラ24を備えている。

【0106】以上のように構成された本実施態様にかかるレーザアニール装置においては、レーザアニール処理に先立って、オペレータにより、モニター23が観察され、赤外線温度センサ22が、主レーザビーム3を照射して、加熱溶融されるべき半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度を測定可能なように、赤外線温度センサ22が位置決めされる。

【0107】次いで、第一のレーザビーム光源1がオンされ、主レーザビーム3が、半導体薄膜10の加熱溶融されるべき領域13に照射される。

【0108】主レーザビーム3によって、半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13内の非単結晶シリコンの温度が1420°C以上に加熱された後、第一のレーザビーム光源1がオフされると、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が、赤外線温度センサ22によって測定される。

【0109】赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が、所定温度、たとえば、非単結晶シリコンのアモルファス化温度よりもわずかに高い1120°Cにまで低下すると、レーザコントローラ24は、赤外線温度センサ22からの測定信号に基づき、第二のレーザビーム光源2に駆動信号を出して、第二のレーザビーム光源2をオンさせる。

【0110】その結果、副レーザビーム6は、基板11に対して、半導体薄膜10の反対側に設けられた平面反射ミラー21によって反射され、透明な移動台12およびガラスよりなる基板11を介して、主レーザビーム3が照射されている半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13の上流側のトレーリングエッジ領域15を含む領域14に照射される。

【0111】第二のレーザビーム光源2をオンさせたにもかかわらず、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が、所定温度以下になった場合には、レーザコントローラ24は、第二のレーザビーム光源2のパワーを増大させ、他方、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が高くなりすぎた場合には、レーザコントローラ24は、第

二のレーザビーム光源2のパワーを低下させるように、第二のレーザビーム光源2のパワーを制御する。

【0112】本実施態様によれば、赤外線温度センサ22によって、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度を測定し、トレーリングエッジ領域15の温度が、所定温度、たとえば、アモルファス化温度よりもわずかに高い1120°Cにまで低下したときに、第二のレーザビーム光源2をオンさせて、副レーザビーム6を半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15に照射するように、第二のレーザビーム光源2を制御しているので、加熱溶融された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンがアモルファス化することを確実にかつ効果的に防止して、所望のように、非単結晶シリコンを結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜10を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0113】さらに、本実施態様によれば、第二のレーザビーム光源2をオンさせたにもかかわらず、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が、所定温度以下になった場合には、第二のレーザビーム光源2のパワーを増大させ、他方、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が高くなりすぎた場合には、第二のレーザビーム光源2のパワーを低下させるように、第二のレーザビーム光源2のパワーが、レーザコントローラ24によって制御されているので、加熱溶融された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンがアモルファス化することをより確実にかつ効果的に防止して、所望のように、非単結晶シリコンを結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜10を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0114】図6は、本発明の他の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【0115】図6に示されるように、本実施態様にかかるレーザアニール装置は、主レーザビーム3が照射されている半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13のトレーリングエッジ領域15の温度をモニターする赤外線温度センサ22と、赤外線温度センサ22によって温度を測定すべき半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度にしたがって、第二のレーザビーム光源2をオン・オフ制御するレーザコントローラ24を備えている点を除いて、図2に示されたレーザアニール装置と同様の構成を有している。

【0116】本実施態様においては、レーザコントローラ24は、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度に基づき、第一のレーザビーム光源1がオフされた後の半導

体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度の低下速度 $\alpha^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ を算出して、メモリ(図示せず)に記憶可能で、赤外線温度センサ22によって測定される半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度に基づいて、トレーリングエッジ領域15内の所定の領域と、その領域から $\beta\text{m}$ の距離にあるトレーリングエッジ領域15の上流側の半導体薄膜10の領域との間の温度差 $\gamma^{\circ}\text{C}$ を検出し、 $(\alpha \times \beta \div \gamma)$ が、20m/秒を越えたときに、第二のレーザビーム光源2をオンさせるように構成されている。ここに、20m/秒は非単結晶シリコンの最大結晶化速度である。

【0117】第二のレーザビーム光源2をオンさせたにもかかわらず、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10の温度に基づいて算出した $(\alpha \times \beta \div \gamma)$ の値が、非単結晶シリコンの最大結晶化速度である20m/秒を越えるときは、レーザコントローラ24は、第二のレーザビーム光源2のパワーを増大させ、これに対して、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度に基づいて算出したトレーリングエッジ領域15の冷却速度が低くなりすぎた場合には、レーザコントローラ24は、第二のレーザビーム光源2のパワーを低下させるよう、第二のレーザビーム光源2のパワーを制御する。

【0118】本実施態様によれば、トレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンの冷却速度を、所望のように、制御することができ、加熱溶融された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンがアモルファス化することを確実にかつ効果的に防止して、所望のように、非単結晶シリコンを結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜10を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0119】さらに、本実施態様によれば、第二のレーザビーム光源2をオンさせたにもかかわらず、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10の温度に基づいて算出した $(\alpha \times \beta \div \gamma)$ の値が、非単結晶シリコンの最大結晶化速度である20m/秒を越えるときは、第二のレーザビーム光源2のパワーを増大させ、これに対して、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度に基づいて算出したトレーリングエッジ領域15の冷却速度が低くなりすぎた場合には、第二のレーザビーム光源2のパワーを低下させるように、レーザコントローラ24によって、第二のレーザビーム光源2のパワーが制御されているので、加熱溶融された半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンがアモルファス化することをより確実にかつ効果的に防止して、所望のように、非単結晶シリコンを結晶化させ、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜10を有する薄膜半導体装置を製造することが可能になる。

【0120】図7は、本発明のさらに他の好ましい実施

態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【0121】図7に示されるように、本実施態様にかかるレーザアニール装置においては、第二のレーザビーム光源2から発せられた副レーザビーム6を発散させる凹レンズ25を備え、副レーザビーム6は、凹レンズ25によって発散された後、反射ミラー9によって反射されて、半導体薄膜10の領域14に入射するように構成されている。

【0122】本実施態様においては、第二のレーザビーム光源2は、第一のレーザビーム光源1と同時に、オンされ、第一のレーザビーム光源1がオフされた後も、所定の時間にわたり、オンされているように構成されている。

【0123】図8は、本発明のさらに他の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【0124】図8に示されるように、本実施態様にかかるレーザアニール装置においては、反射ミラー9は設けておらず、第一のレーザビーム光源1は、ホモジナイザ4およびスリット5を介して、基板11に形成された半導体薄膜10の表面に向けて、主レーザビーム3を入射するように構成され、第二のレーザビーム光源2は、ホモジナイザ7およびスリット8を介して、基板11に形成された半導体薄膜10の表面に対して、斜め方向から、副レーザビーム6を入射するように構成されている。

【0125】本実施態様においては、第二のレーザビーム光源2は、第一のレーザビーム光源1がオフされるのと同時に、オンされ、所定の時間にわたり、オンされているように構成されている。

【0126】本発明は、以上の実施態様および実施例に限定されることなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

【0127】たとえば、前記実施態様においては、非単結晶シリコンによって形成された半導体薄膜10を加熱溶融して、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造する場合につき、説明を加えたが、本発明は、非単結晶シリコンによって形成された半導体薄膜10を加熱溶融して、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造する場合に限定されるものではなく、非単結晶シリコンーゲルマニウム、非単結晶ゲルマニウムその他の非単結晶半導体によって形成された半導体薄膜を加熱溶融して、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造する場合に広く適用することができる。

【0128】さらに、前記実施態様においては、副レーザビーム6が、トレーリングエッジ領域15およびその上流側の半導体薄膜10の領域を含む領域13に照射されているが、副レーザビーム6を、トレーリングエッジ

領域15の上流側の半導体薄膜10の領域に照射することは必ずしも必要ではなく、トレーリングエッジ領域15のみに、副レーザビーム6を照射するようにしてもよい。

【0129】また、図2に示された実施態様においては、第一のレーザビーム光源1がオフされる10nsec前に、第二のレーザビーム光源2がオンされ、図5および図6に示された実施態様においては、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、トレーリングエッジ領域15の冷却状態にしたがって、第二のレーザビーム光源2がオンされ、図7に示された実施態様においては、第一のレーザビーム光源1と第二のレーザビーム光源2が同時にオンされ、図8に示された実施態様においては、第二のレーザビーム光源2が、第一のレーザビーム光源1がオフされるのと同時に、オンされるように構成されているが、少なくとも、第一のレーザビーム光源1がオフされた後の所定の時間内にわたって、第二のレーザビーム光源2がオンされ、副レーザビーム6が、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15に照射されて、トレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンの冷却速度を所定速度以下に制御することができればよく、第二のレーザビーム光源2がオンされるタイミングが、とくに、限定されるものではない。

【0130】さらに、図5および図6に示された実施態様においては、赤外線温度センサ22およびレーザコントローラ24が設けられて、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が測定されて、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度あるいは冷却速度にしたがって、第二のレーザビーム光源2がオン・オフ制御されているが、図7および図8に示された実施態様においても、図5および図6に示された実施態様と全く同様にして、赤外線温度センサ22およびレーザコントローラ24を設けて、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の冷却状態にしたがって、第二のレーザビーム光源2をオン・オフ制御することもできる。

【0131】さらに、図5に示された実施態様においては、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度を、赤外線温度センサ22によって測定し、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度にしたがって、第二のレーザビーム光源2のオンしているが、図2、図7および図8に示された実施態様と同様にして、第二のレーザビーム光源2をオンするタイミングをあらかじめ実験的に決定しておき、実験的に決定したタイミングにしたがって、第二のレーザビーム光源2をオン・オフ制御するようにしてもよい。

【0132】また、前記実施態様においては、共振波長308nmのXeClエキシマレーザが用いられているが、XeClエキシマレーザに代えて、XeFエキシマ

レーザ（共振波長351nm）、KrFエキシマレーザ（共振波長248nm）、KrClエキシマレーザ（共振波長222nm）、ArFエキシマレーザ（共振波長193nm）およびF<sub>2</sub>エキシマレーザ（共振波長157nm）などのエキシマレーザを用いてもよい。

【0133】さらに、前記実施態様においては、エネルギービームとしてレーザビームが用いられているが、レーザビームを用いることは必ずしも必要がなく、他のコヒーレントな光ビームやコヒーレントでない光ビームを用いることもでき、たとえば、電子ビーム、電磁波、原子ビーム、分子ビームなどを用いることもできる。

【0134】また、前記実施態様においては、基板11として、ガラス基板を用いているが、ガラスに代えて、プラスチック基板などを用いることもできる。

【0135】さらに、前記実施態様においては、主レーザビーム3を照射することによって、半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13の温度が、1420°C以上になるように、第一のレーザビーム光源1のパワーが、レーザビーム光源制御手段16によって制御されているが、主レーザビーム3を照射することによって、半導体薄膜の加熱溶融すべき領域13の温度が、結晶化温度以上になるように、主レーザビーム3のパワーが制御されればよく、半導体薄膜10の加熱溶融すべき領域13の温度が、1420°C以上になるように、第一のレーザビーム光源1のパワーを制御することは必ずしも必要でない。

【0136】また、前記実施態様においては、副レーザビーム6をトレーリングエッジ領域15に照射することによって、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が、1100°Cを越える温度に保持されるように、第二のレーザビーム光源2のパワーが、レーザビーム光源制御手段16によって制御されているが、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が、アモルファス化温度を越える温度に保持されるように、第二のレーザビーム光源2のパワーが制御されればよく、半導体薄膜10のトレーリングエッジ領域15の温度が、1100°Cを越える温度に保持されるように、第二のレーザビーム光源2のパワーを制御することは必ずしも必要でない。

【0137】さらに、図2に示された実施態様においては、第一のレーザビーム光源1がオフされる10nsec前に、第二のレーザビーム光源2がオンされるように、レーザビーム光源制御手段16によって、第二のレーザビーム光源2が制御されているが、第一のレーザビーム光源1がオフされる以前に、第二のレーザビーム光源2をオンさせる場合、第一のレーザビーム光源1がオフされる10nsec前に、第二のレーザビーム光源2がオンされるように制御することは必ずしも必要ではなく、第一のレーザビーム光源1をオンさせる前に、第二のレーザビーム光源2をオンさせることもできる。

【0138】また、図2に示された実施態様においては、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、半導体薄膜10の膜厚を20m/秒で除して算出される時間が経過した時点で、第二のレーザビーム光源2がオフされるように、第二のレーザビーム光源2が、レーザビーム光源制御手段16によって制御されているが、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、トレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンの結晶化が完了するまでの間、第二のレーザビーム光源2がオンされればよく、第一のレーザビーム光源1がオフされた後、半導体薄膜10の膜厚を20m/秒で除して算出される時間が経過した時点で、第二のレーザビーム光源2がオフされるように、第二のレーザビーム光源2を制御することは必ずしも必要でない。

【0139】さらに、図6に示された実施態様においては、赤外線温度センサ22によって測定された半導体薄膜10の温度に基づいて算出した $(\alpha \times \beta \div \gamma)$ の値が、非単結晶シリコンの最大結晶化速度である20m/秒を超えたときに、第二のレーザビーム光源2をオンさせているが、トレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンの冷却速度にしたがって、第二のレーザビーム光源2をオンさせて、トレーリングエッジ領域15内の非単結晶シリコンの冷却速度を制御すればよく、 $(\alpha \times \beta \div \gamma)$ の値が、非単結晶シリコンの最大結晶化速度である20m/秒を超えたときに、第二のレーザビーム光源2をオンさせるように制御することは必ずしも必要がない。

【0140】また、図2および図7に示された実施態様においては、反射面9aおよび反射面9bを備えたV字状の反射ミラー9を用いているが、別個の反射ミラーを用いて、主レーザビーム3および副レーザビーム6を反射させるようにすることもできる。

【0141】さらに、図5に示された実施態様においては、第二のレーザビーム光源2、ホモジナイザ7およびスリット8が、基板11に対して、半導体薄膜10の反対側に設けられているが、第二のレーザビーム光源2、ホモジナイザ7およびスリット8を、基板11に対して、半導体薄膜10の側に設け、第一のレーザビーム光源1、ホモジナイザ4およびスリット5を、基板11に対して、半導体薄膜10の反対側に設けるようにしてもよい。

【0142】また、図2に示された実施態様においては、基板11に対して、半導体薄膜10の側に、第一のレーザビーム光源1、第二のレーザビーム光源2、ホモジナイザ4、7、スリット5、8および反射ミラー9を設けているが、第一のレーザビーム光源1、第二のレーザビーム光源2、ホモジナイザ4、7、スリット5、8および反射ミラー9を基板11に対して、半導体薄膜10の反対側に設けるようにしてもよい。

【0143】さらに、図7に示された実施態様において

は、凹レンズ25によって、副レーザビーム6を発散させているが、凹レンズ25以外の手段によって、副レーザビーム6を発散させるようにしてもよい。

【0144】また、図2、図5および図7に示された実施態様において、V字状反射ミラー9によって反射されなかった主レーザビーム3および副レーザビーム6ならびに平面反射ミラー20、21によって反射されなかった主レーザビーム3および副レーザビーム6が、半導体薄膜10に照射されることがないように、V字状反射ミラー9によって反射されなかった主レーザビーム3および副レーザビーム6ならびに平面反射ミラー20、21によって反射されなかった主レーザビーム3および副レーザビーム6を導くミラーを、それぞれ、設けることができる。

【0145】さらに、図8に示された実施態様においては、第一のレーザビーム光源1は、ホモジナイザ4およびスリット5を介して、基板11に形成された半導体薄膜10の表面に向けて、主レーザビーム3を入射させるように構成され、第二のレーザビーム光源2は、ホモジナイザ7およびスリット8を介して、基板11に形成された半導体薄膜10の表面に対して、斜め方向から、副レーザビーム6を入射させるように構成されているが、第二のレーザビーム光源2を、ホモジナイザ7およびスリット8を介して、基板11に形成された半導体薄膜10の表面にに向けて、副レーザビーム6を入射させるように構成し、第一のレーザビーム光源1を、ホモジナイザ4およびスリット5を介して、基板11に形成された半導体薄膜10の表面に対して、斜め方向から、主レーザビーム3を入射させるように構成することもできる。

#### 【0146】

【発明の効果】本発明によれば、エネルギービームによって、加熱溶融された半導体薄膜の一部がアモルファス化することを確実にかつ効果的に防止して、表面平滑性に優れ、高移動度で均一な半導体薄膜を有する薄膜半導体装置を製造することができる薄膜半導体装置の製造方法および装置を提供することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、アモルファスシリコン膜の加熱特性を示すグラフである。

【図2】図2は、本発明の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【図3】図3は、第一のレーザビーム光源から発せられた主レーザビームおよび第二のレーザビーム光源から発せられた副レーザビームの強度分布を示すグラフである。

【図4】図4は、ホモジナイザーおよびスリットを通過した主レーザビームおよびホモジナイザーおよびスリットを通過した副レーザビームの強度分布を示すグラフである。

【図5】図5は、本発明の別の好ましい実施態様にかか

るレーザアニール装置の略縦断面図である。

【図6】図6は、本発明の他の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【図7】図7は、本発明のさらに他の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【図8】図8は、本発明のさらに他の好ましい実施態様にかかるレーザアニール装置の略縦断面図である。

【符号の説明】

- 1 第一のレーザビーム光源
- 2 第二のレーザビーム光源
- 3 主レーザビーム
- 4 ホモジナイザー
- 5 スリット
- 6 副レーザビーム
- 7 ホモジナイザー
- 8 スリット

9 反射ミラー

9a 反射面

9b 反射面

10 半導体薄膜

11 基板

12 移動台

13 加熱溶融されるべき半導体薄膜の領域

14 副レーザビームが照射される半導体薄膜の領域

15 トレーリングエッジ領域

16 レーザビーム光源制御手段

20 平面反射ミラー

21 平面反射ミラー

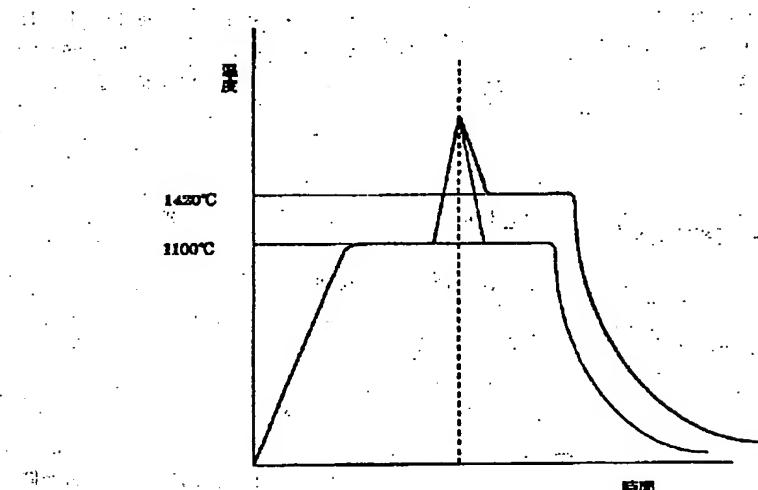
22 赤外線温度センサ

23 モニター

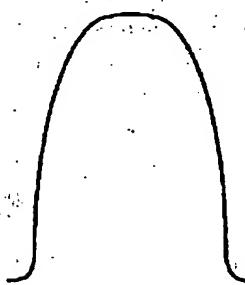
24 レーザコントローラ

25 回レンズ

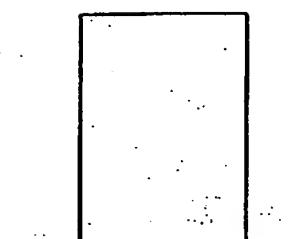
【図1】



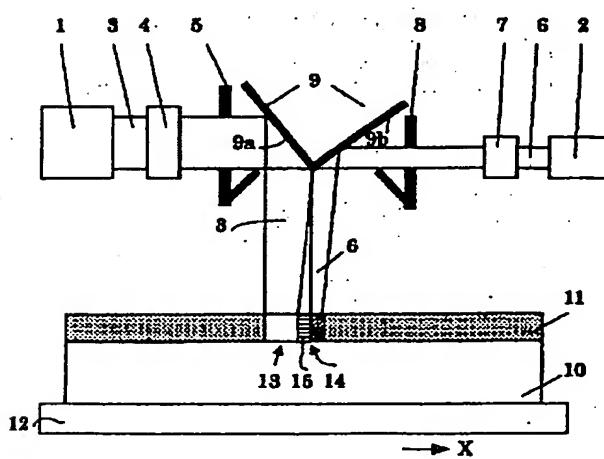
【図3】



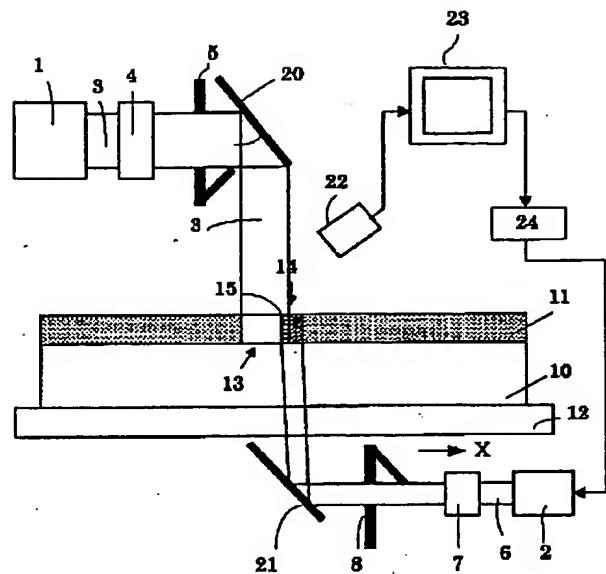
【図4】



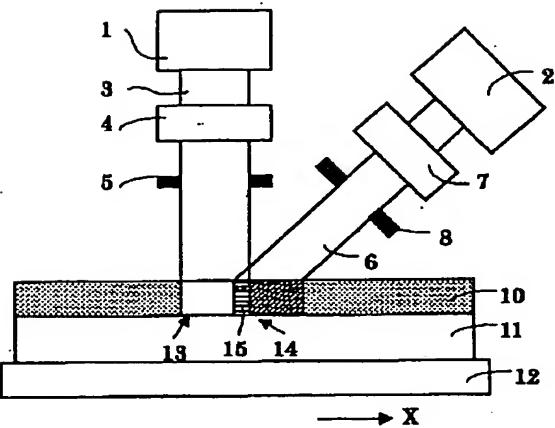
【図2】



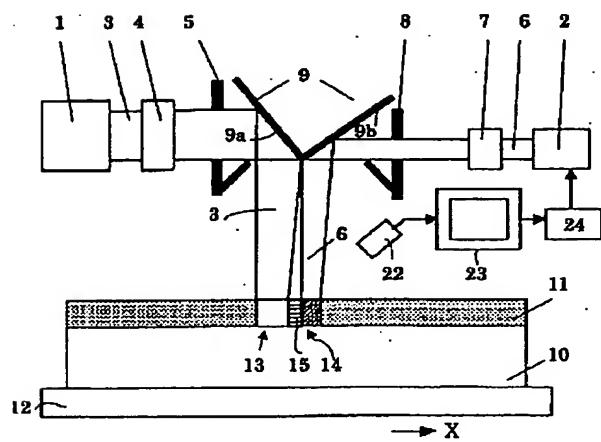
【図5】



【図8】



【図6】



(20) 01-176797 (P2001-17斯8

【图7】

